



Sintesis Koloid Nanopartikel Bismut Menggunakan Ekstrak *Citrus Limon*: Optimasi Daya dan Waktu Pemanasan Gelombang Mikro

Ni Wayan Mega Savira Utami^{1*}, Wahyuna Nur², dan Sukmawati Said³

¹²³*Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar*

Email: egasavirautami@unm.ac.id

*Corresponding Author

Abstrak

Penelitian ini berhasil mensintesis koloid nanopartikel bismut menggunakan ekstrak *citrus limon* melalui metode pemanasan gelombang mikro. Pemanasan gelombang mikro digunakan sebagai faktor utama yang mengendalikan proses pembentukan partikel, sehingga variasi daya dan waktu pemanasan dikaji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik nanopartikel yang dihasilkan. Sintesis dilakukan dengan melarutkan serbuk bismut ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ke dalam ekstrak *citrus limon*. Campuran kemudian dipanaskan menggunakan gelombang mikro pada daya 100, 300, 450, 600, dan 800 W selama 1, 3, 5, 7, dan 10 menit. Karakterisasi dilakukan menggunakan UV-Vis, XRD, dan TEM untuk mengamati sifat optik, struktur kristal, serta morfologi dan ukuran partikel. Hasil menunjukkan bahwa kondisi optimum dicapai pada daya 800 W selama 5 menit, ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi hitam dan absorbansi maksimum pada panjang gelombang 272 nm (2,680 a.u.). Analisis XRD memperlihatkan puncak-puncak difraksi pada $2\theta = 27,4^\circ$; $38,1^\circ$; dan $40,0^\circ$ yang sesuai dengan bidang hkl (012), (104), dan (110), mengonfirmasi struktur kristalin trigonal khas bismut berdasarkan standar JCPDS No. 44-1246. Citra TEM menunjukkan morfologi partikel dominan berbentuk bulat dengan ukuran rata-rata 33,19 nm. Hasil ini membuktikan bahwa pemanasan gelombang mikro terbukti mampu mempercepat dan menstabilkan sintesis koloid nanopartikel bismut berbasis ekstrak *citrus limon*, menghasilkan partikel nano yang stabil dan bermorfologi baik.

Kata kunci: ekstrak *citrus limon*, gelombang mikro, koloid nanopartikel bismut.

Abstract

This study successfully synthesized bismuth nanoparticle colloids using citrus limon extract through a microwave heating method. Microwave heating was used as the main factor controlling the particle formation process, so variations in power and heating time were examined to determine their effect on the characteristics of the resulting nanoparticles. The synthesis was carried out by dissolving bismuth powder ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) into citrus limon extract. The mixture was then heated using microwaves at powers of 100, 300, 450, 600, and 800 W for 1, 3, 5, 7, and 10 minutes. Characterization was performed using UV-Vis, XRD, and TEM to observe the optical properties, crystal structure, and particle morphology and size. The results show that the optimum condition was achieved at 800 W for 5 minutes, marked by a change in the color of the solution to black and maximum absorbance at a wavelength of 272 nm (2,680 a.u.). XRD analysis showed diffraction peaks

at $2\theta = 27.4^\circ$; 38.1° ; and 40.0° , corresponding to the *hkl* planes (012), (104), and (110), confirming the characteristic trigonal crystalline structure of bismuth based on JCPDS standard No. 44-1246. TEM images show a dominant spherical particle morphology with an average size of 33.19 nm. These results prove that microwave heating is capable of accelerating and stabilizing the synthesis of citrus limon extract-based bismuth nanoparticle colloids, producing stable nanoparticles with good morphology.

Keywords: bismuth nanoparticle colloid, citrus limon extract, microwaves.

1. PENDAHULUAN

Nanopartikel adalah material berukuran 1–100 nm yang memiliki sifat fisikokimia berbeda dari material berukuran bulk [1]. Di antara berbagai jenis nanopartikel, nanopartikel bismut menarik perhatian berkat stabilitas tinggi, kemudahan fungsionalisasi, dan toksisitasnya yang relatif rendah, sehingga potensial untuk aplikasi biologi dan biomedis [2]. Sintesis nanopartikel bismut umumnya dilakukan melalui metode fisika atau kimia. Metode fisika membutuhkan energi tinggi dan peralatan kompleks, sedangkan metode kimia lebih sederhana tetapi sering menggunakan bahan kimia toksik yang berpotensi mencemari lingkungan [3]. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkanlah pendekatan *green synthesis*, yaitu metode sintesis yang memanfaatkan senyawa organik dari tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil, sehingga lebih aman dan berkelanjutan [4].

Senyawa bioaktif yang berperan dalam mekanisme ini meliputi terpenoid, flavonoid, enzim, asam fenolik, dan alkaloid, yang mampu mereduksi ion logam menjadi bentuk elemental. Selain itu, senyawa-senyawa tersebut juga menstabilkan partikel pada skala nano melalui mekanisme *capping*. Salah satu sumber biomolekul yang potensial adalah buah *citrus limon*, yang kaya akan asam sitrat, asam askorbat, flavonoid, dan vitamin [5]. Kandungan ini tidak hanya memungkinkan terjadinya reduksi ion Bi^{3+} menjadi atom Bi^0 , tetapi juga menjaga kestabilan koloid nanopartikel melalui interaksi gugus fungsi pada permukaan partikel [6,7].

Beberapa penelitian telah memanfaatkan tumbuhan sebagai agen pereduksi dalam *green synthesis* nanopartikel bismut, seperti penggunaan jus lemon dengan *thermostat bath* (± 2 jam) dan ekstrak daun *Moringa oleifera* menggunakan *hotplate magnetic stirrer* (± 3 jam) [8,9]. Namun, metode tersebut memerlukan waktu reaksi yang lama dan menghasilkan distribusi panas yang kurang merata [10]. Untuk mengatasi keterbatasan ini, pemanasan gelombang mikro diterapkan karena mampu memberikan pemanasan lebih cepat dan homogen, sehingga meningkatkan efisiensi proses serta menghasilkan partikel yang lebih seragam dan terkontrol ukurannya.

Gelombang mikro bekerja dengan memicu interaksi molekul secara langsung melalui medan elektromagnetik, sehingga meningkatkan mobilitas ion dan mempercepat tumbukan antara reduktor dan prekursor. Mekanisme ini mempercepat proses nukleasi serta pertumbuhan partikel [11]. Meskipun demikian, teknik pemanasan gelombang mikro tetap memerlukan optimasi parameter, karena kombinasi daya yang terlalu rendah dengan waktu pemanasan panjang, atau sebaliknya, dapat menyebabkan degradasi termal yang pada akhirnya menurunkan kualitas nanopartikel yang dihasilkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengusulkan sintesis koloid nanopartikel bismut berbasis ekstrak *citrus limon* menggunakan metode pemanasan

gelombang mikro sebagai solusi atas keterbatasan metode sebelumnya yang masih bergantung pada pemanasan konvensional dengan waktu reaksi lama dan distribusi panas yang tidak merata. Selain itu, penelitian ini secara khusus mengkaji pengaruh variasi daya dan waktu pemanasan untuk menentukan kondisi optimum sintesis, sehingga dapat menghasilkan nanopartikel dengan ukuran lebih seragam, stabilitas lebih baik, dan efisiensi proses yang lebih tinggi.

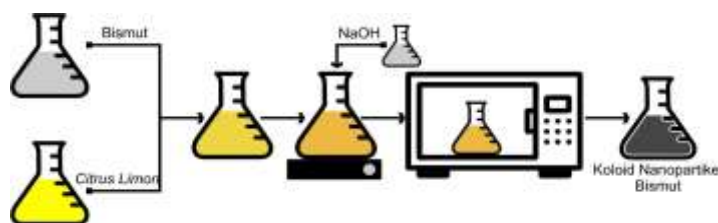
2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bismut *nitrate pentahydrate* ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), aquades, buah *citrus limon* dan NaOH.

2.2 Sintesis Koloid Nanopartikel Bismut

Sintesis nanopartikel bismut diawali dengan mencampurkan 0,5 gram bismut ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ke dalam 50 mL ekstrak *citrus limon*. Campuran dihomogenkan menggunakan sonikasi selama 20 menit, kemudian pH dinaikkan hingga 12 dengan larutan NaOH 4 M. Penambahan basa menghasilkan total volume akhir $\pm 55\text{--}60$ mL. Proses sintesis dilakukan menggunakan *microwave* laboratorium. Optimasi dilakukan dalam dua tahap. Pertama, variasi waktu pemanasan (1, 3, 5, 7, dan 10 menit) diuji pada daya konstan 450 W untuk menentukan waktu optimum. Setelah waktu optimum diperoleh, variasi daya gelombang mikro (100, 300, 450, 600, dan 800 W) digunakan untuk menentukan kombinasi daya yang menghasilkan karakteristik nanopartikel terbaik [7]. Skema lengkap prosedur sintesis ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema prosedur sintesis koloid nanopartikel bismut

2.3 Karakterisasi Koloid Nanopartikel Bismut

Beberapa pengujian dilakukan untuk mengkarakterisasi nanopartikel bismut yang dihasilkan. Pertama, uji spektroskopi *UV-Visible* (UV-Vis) digunakan untuk menentukan spektrum dan absorbansi. Uji *X-ray Diffractometer* (XRD) digunakan untuk mengetahui struktur kristal. Terakhir, uji *Transmission Electron Microscopy* (TEM) digunakan untuk mengetahui morfologi dan ukuran nanopartikel.

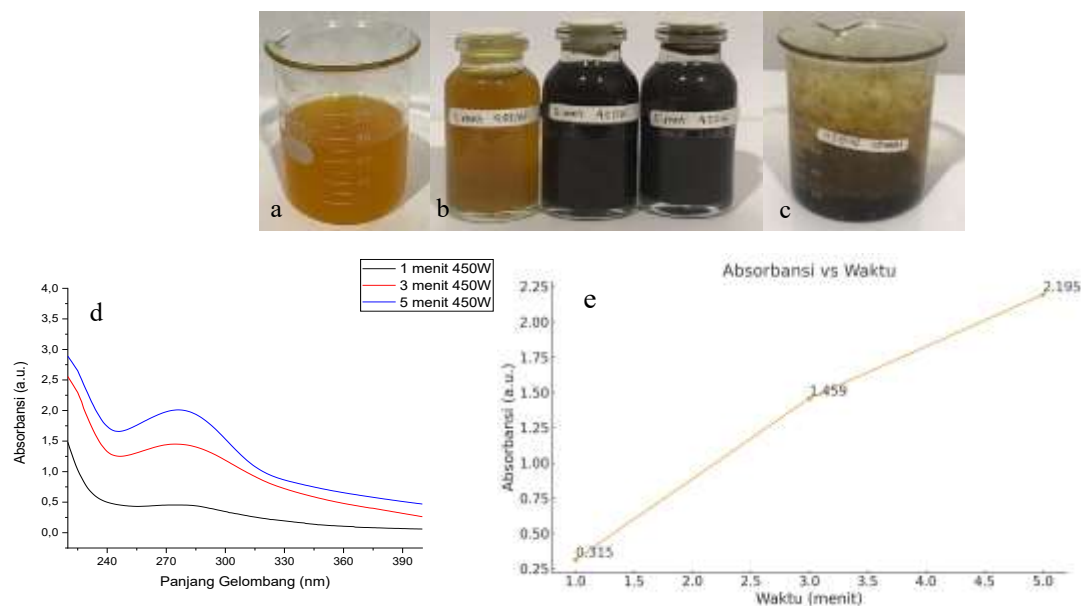
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sintesis Koloid Nanopartikel Bismut

Proses sintesis koloid nanopartikel bismut dengan ekstrak *citrus limon* melibatkan reduksi ion Bi^{3+} , pembentukan inti, dan pertumbuhan partikel. Senyawa bioaktif dalam ekstrak bertindak sebagai bioreduktor dan *capping agent*, sementara pemanasan gelombang mikro memberikan energi secara cepat dan merata sehingga mempercepat reduksi dan meningkatkan intensitas tumbukan antara prekursor dan reduktor. Pembentukan nanopartikel dapat diidentifikasi secara visual melalui perubahan warna larutan menjadi hitam, sebagaimana dilaporkan oleh Mahiuddin, dkk (2021) dan Utami, dkk (2023) [7–8]. Warna ini berkaitan dengan fenomena *Surface Plasmon Resonance* (SPR), yang ditunjukkan oleh puncak serapan UV–Vis pada panjang gelombang sekitar 260–280 nm [7], [12,13]. Dengan demikian, variasi waktu dan daya gelombang mikro menjadi parameter penting untuk dikaji karena berpengaruh langsung terhadap dinamika nukleasi, pertumbuhan partikel, dan karakteristik nanopartikel yang dihasilkan. Bagian berikut membahas secara berurutan pengaruh waktu pemanasan dan variasi daya terhadap proses sintesis.

3.1.1 Variasi Waktu

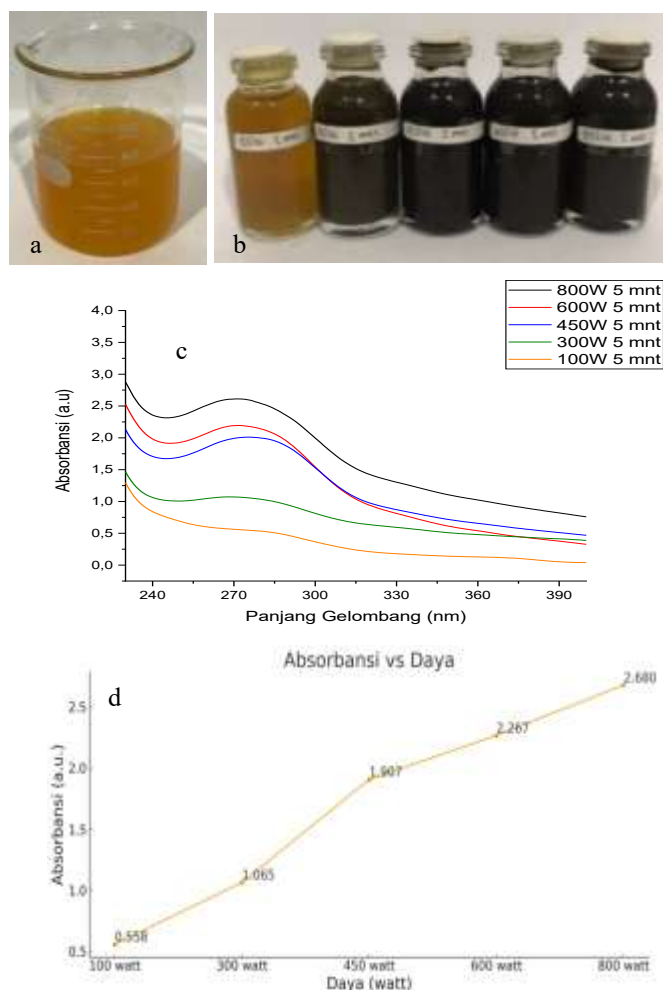
Variasi waktu pemanasan menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap proses pembentukan koloid nanopartikel bismut, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Pada pemanasan 1 menit, larutan tidak menunjukkan perubahan warna maupun puncak serapan pada UV–Vis, menandakan reduksi Bi^{3+} belum terjadi. Pemanasan 3 menit mulai memicu pembentukan nanopartikel, yang ditandai dengan warna hitam kecoklatan dan munculnya puncak serapan pada 278 nm (1,459 a.u.). Kondisi optimum dicapai pada 5 menit, di mana larutan berubah menjadi hitam pekat dan puncak serapan bergeser ke 275 nm dengan absorbansi meningkat menjadi 2,195 a.u., menunjukkan peningkatan jumlah inti Bi^0 dan stabilitas koloid yang lebih baik. Pemanasan lebih lama (7 dan 10 menit) menyebabkan penguapan berlebih hingga mendekati pengeringan, mengindikasikan degradasi termal akibat akumulasi energi gelombang mikro. Dengan demikian, durasi 5 menit merupakan waktu pemanasan paling efektif untuk sintesis koloid nanopartikel bismut.



Gambar 2 (a) Larutan tanpa pemanasan gelombang mikro [7], (b) Larutan dengan pemanasan gelombang mikro pada waktu 1, 3 dan 5 menit, (c) Larutan pada waktu pemanasan 7 dan 10 menit (d) Spektrum UV-Vis koloid nanopartikel bismut dengan variasi waktu pemanasan (e) Perbandingan nilai absorbansi dengan waktu

3.1.2 Variasi Daya

Setelah waktu optimum diperoleh, pengaruh variasi daya gelombang mikro dianalisis menggunakan durasi pemanasan tetap selama 5 menit, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Pada daya 100 W, larutan tidak mengalami perubahan warna dan tidak muncul puncak serapan UV-Vis, yang menandakan bahwa energi yang diberikan belum cukup untuk memulai reduksi ion Bi^{3+} dan proses nukleasi. Pada 300 W, nanopartikel mulai terbentuk, ditunjukkan oleh perubahan warna menjadi hitam kecoklatan dan munculnya puncak serapan pada 277 nm (1,065 a.u). Peningkatan daya menjadi 450, 600, dan 800 W menghasilkan larutan berwarna semakin pekat, disertai pergeseran puncak UV-Vis ke 275, 274, dan 272 nm serta peningkatan absorbansi hingga 2,680 a.u. Tren ini menunjukkan peningkatan konsentrasi nanopartikel sekaligus pembentukan koloid yang lebih stabil dan seragam.



Gambar 3. (a) Larutan tanpa pemanasan gelombang mikro [7], (b) Larutan dengan pemanasan variasi daya gelombang mikro, (c) Spektrum UV-Vis koloid nanopartikel bismut dengan variasi daya gelombang mikro, (d) Perbandingan nilai absorbansi dengan waktu

Secara mekanistik, daya *microwave* yang lebih tinggi menghasilkan pemanasan volumetrik yang lebih cepat dan homogen, meningkatkan mobilitas ion serta frekuensi tumbukan antara reduktor dan prekursor. Energi yang lebih besar mempercepat reduksi Bi^{3+} menjadi Bi^0 dan meningkatkan laju nukleasi, sehingga jumlah inti yang terbentuk lebih banyak dan berukuran lebih seragam. Kondisi ini mendorong pertumbuhan nanopartikel yang lebih terkendali dan stabil secara koloid. Hasil ini konsisten dengan karakteristik *Surface Plasmon Resonance* (SPR) nanopartikel bismut pada rentang 260–290 nm [7],[12,13] serta selaras dengan temuan Torrisi dkk. (2018) dan Utami dkk. (2023), yang melaporkan puncak 269–275 nm untuk nanopartikel bismut yang dihasilkan melalui metode ablasi laser pulsa maupun pemanasan gelombang mikro [7],[13]. Berdasarkan intensitas serapan, kestabilan warna, dan keseragaman puncak UV-Vis, daya 800 W selama 5 menit

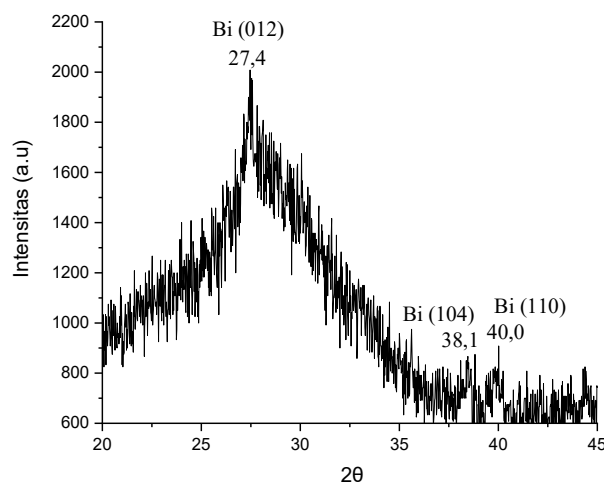
ditetapkan sebagai kondisi optimum untuk menghasilkan koloid nanopartikel bismut dengan konsentrasi dan kualitas paling baik.

3.2 Karakterisasi Koloid Nanopartikel Bismut

Berdasarkan hasil sintesis koloid nanopartikel bismut dengan variasi daya gelombang mikro dan waktu pemanasan, diperoleh kondisi optimum pada daya 800 W dan waktu pemanasan 5 menit. Sampel pada kondisi ini kemudian dikarakterisasi lebih lanjut menggunakan XRD dan TEM untuk memverifikasi serta memperkuat hasil sintesis.

3.2.1 Karakterisasi XRD

Analisis XRD digunakan untuk memastikan struktur kristal dari nanopartikel bismut hasil sintesis. Analisis XRD pada penelitian ini berdasarkan JCPDS No. 44-1246 dengan puncak-puncak 2θ yang dihasilkan menandakan adanya nanopartikel bismut yaitu $27,2^\circ$; $38,0^\circ$ dan $39,6^\circ$ dengan masing-masing nilai hkl secara berurutan (012), (104) dan (110). Hasil spektrum XRD dari sintesis nanopartikel bismut dengan pemanasan gelombang mikro disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum XRD dari sintesis nanopartikel bismut dengan pemanasan gelombang mikro

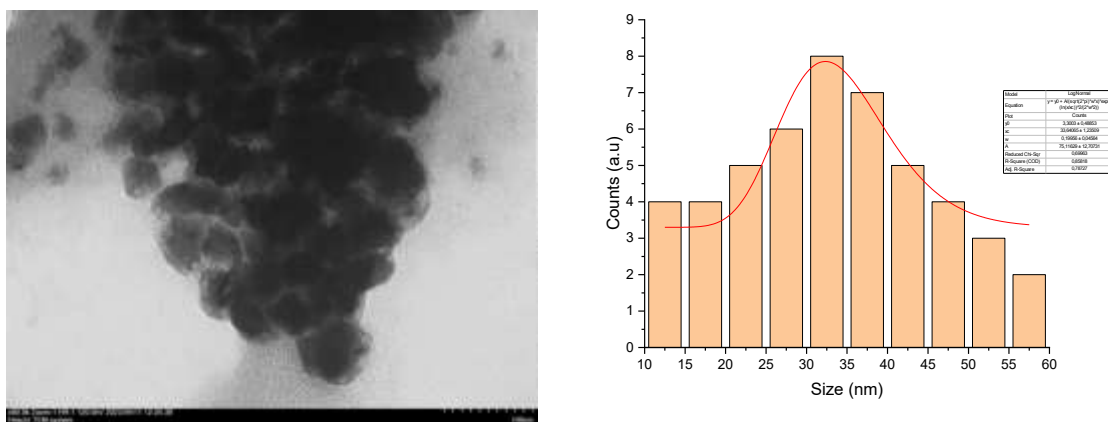
Pola difraksi pada Gambar 4 menunjukkan tiga puncak utama pada $2\theta = 27,4^\circ$, $38,1^\circ$, dan $40,0^\circ$, masing-masing berkaitan dengan bidang hkl (012), (104), dan (110). Pola ini sesuai dengan standar JCPDS No. 44-1246, yang mengonfirmasi bahwa nanopartikel bismut memiliki struktur kristal trigonal khas. Kesesuaian puncak ini juga sejalan dengan temuan Mahiuddin, dkk (2021) dan Torrisi, dkk (2018), yang melaporkan puncak difraksi pada 2θ terdeteksi pada $27,3^\circ$; $38,1^\circ$ dan $39,7^\circ$ dengan bidang hkl yaitu (012), (104) dan (110) untuk nanopartikel bismut yang disintesis menggunakan metode konvensional dan ablasi laser pulsa [8],[13].

Perbedaan intensitas puncak antar penelitian dapat dikaitkan dengan variasi metode sintesis, ukuran butir, dan orientasi preferensial. Intensitas puncak yang cukup tajam pada penelitian ini menunjukkan kristalinitas yang baik, yang diinduksi oleh pemanasan

gelombang mikro. Pemanasan gelombang mikro memberikan energi secara cepat dan merata, mempercepat proses nukleasi sekaligus mendukung pertumbuhan kristal yang lebih homogen. Hasil ini menegaskan bahwa metode sintesis ini efektif dalam menghasilkan nanopartikel bismut dengan fasa kristalin yang murni dan terdefinisi dengan baik.

3.2.2 Karakterisasi TEM

Karakterisasi TEM dilakukan untuk melengkapi informasi dari XRD dengan mengidentifikasi morfologi, ukuran partikel, dan distribusi ukuran nanopartikel bismut (Gambar 5). Analisis citra menggunakan perangkat lunak *ImageJ* pada skala 100 nm menunjukkan bahwa mayoritas partikel berbentuk bulat, sedangkan sebagian kecil berbentuk heksagonal. Bentuk bulat ini konsisten dengan laporan Mahiuddin, dkk (2021) dan Utami, dkk (2023), yang menyatakan bahwa nanopartikel bismut cenderung memiliki morfologi bulat dengan ukuran 8–30 nm [7,8]. Hasil pengukuran menunjukkan ukuran partikel terkecil sebesar 11,07 nm dan terbesar 59,20 nm, dengan ukuran rata-rata 33,19 nm. Nilai ini mengonfirmasi bahwa partikel yang dihasilkan telah berada dalam rentang nanometer (<100 nm). Ukuran partikel yang seragam dan relatif kecil menunjukkan bahwa kondisi sintesis optimum (800 W, 5 menit) mendukung nukleasi cepat dan pertumbuhan partikel yang terkendali.



Gambar 5. (a) Morfologi nanopartikel bismut skala 100 nm **(b)** Histogram distribusi ukuran nanopartikel bismut

Sintesis koloid nanopartikel bismut pada penelitian ini memanfaatkan peran senyawa bioaktif dalam ekstrak *citrus limon* sebagai bioreduktor sekaligus penstabil, yang kinerjanya didukung oleh pemanasan gelombang mikro sebagai sumber energi utama. Pada kondisi basa, senyawa flavonoid, fenolik, dan asam organik mengalami aktivasi dan mereduksi ion Bi^{3+} menjadi Bi^0 melalui mekanisme transfer elektron. Atom Bi^0 kemudian mengalami nukleasi membentuk kluster awal, diikuti pertumbuhan partikel melalui agregasi terkontrol. Stabilitas kluster dijaga oleh interaksi gugus $-\text{OH}$ dan $\text{C}=\text{O}$ dengan permukaan bismut, menghasilkan mekanisme *capping* yang menghambat aglomerasi dan mempertahankan

ukuran partikel dalam skala nano. Kondisi pH tinggi turut memperkuat aktivitas reduksi serta meningkatkan kestabilan sistem koloid [14-15].

Pemanasan gelombang mikro memberikan pengaruh signifikan terhadap keberhasilan sintesis, karena mampu menghasilkan pemanasan volumetrik yang cepat dan homogen, berbeda dengan metode konvensional berbasis konduksi yang cenderung lambat dan tidak merata. Medan elektromagnetik gelombang mikro meningkatkan mobilitas ion dan intensitas tumbukan antara reduktor dan prekursor, sehingga mempercepat reduksi dan meningkatkan laju nukleasi. Optimasi parameter menunjukkan bahwa waktu 5 menit dan daya 800 W merupakan kondisi paling efektif, ditandai oleh peningkatan absorbansi dan pergeseran puncak UV-Vis sesuai karakteristik SPR nanopartikel bismut. Kombinasi bioreduktor alami dan pemanasan gelombang mikro tersebut terbukti menghasilkan nanopartikel bismut yang lebih stabil, seragam, dan berkualitas tinggi dibandingkan metode pemanasan konvensional.

4. SIMPULAN

Sintesis nanopartikel bismut menggunakan ekstrak *citrus limon* dengan metode pemanasan gelombang mikro telah berhasil dilakukan dan menghasilkan koloid berwarna hitam dengan morfologi partikel dominan berbentuk bulat. Karakterisasi melalui spektrum UV-Vis menunjukkan bahwa kondisi optimum sintesis dicapai pada daya 800W dan waktu pemanasan 5 menit, dengan panjang gelombang serapan 272 nm (2680 a.u). Hasil karakterisasi XRD mengonfirmasi struktur kristalin nanopartikel bismut berdasarkan kecocokan puncak difraksi dengan standar JCPDS No. 44-1246 puncak difraksi 2θ terdeteksi pada $27,4^\circ$; $38,1^\circ$ dan $40,0^\circ$ dengan bidang hkl yaitu (012), (104) dan (110). Sementara itu, hasil TEM menunjukkan bahwa nanopartikel yang dihasilkan memiliki bentuk bulat dengan ukuran rata-rata 33,19 nm.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abd Karim, F., Tungadi, R. and Thomas, N.A. 2022. Biosintesis nanopartikel perak ekstrak etanol 96% daun kelor (*Moringa oleifera*) dan uji aktivitasnya sebagai antioksidan. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 2(1), 2775-3670. <http://dx.doi.org/10.37311/ijpe.v2i1.11725>.
- [2] Keat, C.L., Aziz, A., Eid, A.M., dan Elmarzug, N.A. 2015. Biosynthesis of Nanoparticles and Silver Nanoparticles. *Bioresources and Bioprocessing*, 2 (47), 2197-4365. <https://doi.org/10.1186/s40643-015-0076-2>.
- [3] Shams, S., Shahram, P., dan Raisi, M. 2013. Green Synthesis of Silver Nanoparticles in The Presence of Lens culinaris Seed Exudates. *International Journal of Agriculture Crop Science*, 5 (23). 2227-670X. <http://ijagcs.com/wp-content/uploads/2013/09/2812-28151.pdf>.
- [4] Kazemi, Negar Motakef., Yaqoubib, Masoumeh. 2019. Green Synthesis and Characterization of Bismut Oxide Nanoparticle Using Mentha Pulegium Extract.

- Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 19 (2), 1726-6890.
<https://doi.org/10.22037/ijpr.2019.15578.13190>.
- [5] Pravita, C.S. and Dhurhanian, C.E., 2023. Penetapan kadar flavonoid total perasan lemon (citrus limon (L.) Osbeck) secara spektrofotometri UV-Vis. *Health Sciences and Pharmacy Journal*, 7(1), 2599-2015. <https://doi.org/10.32504/hspj.v7i1.653>.
- [6] Joseph, Siby., Mathew, Beena. 2015. Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles and the study on catalytic activity in the degradation of dyes. *Journal of Molecular Liquids*, 204, 1873-3166.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.01.027>.
- [7] Utami, N.W.M.S., Nurhasah, I. and Khumaeni, A. 2023. Synthesis of Bismuth Nanoparticles Using Microwave Irradiation Method. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 10, 2395-6011.
<https://doi.org/10.32628/IJSRST52310376>.
- [8] Mahiuddin, Md., Ochiai, Bungo. 2021. Green synthesis of crystalline bismut nanoparticles using lemon juice. *Royal Society of Chemistry*, 11, 0262-9518.
<https://doi.org/10.1039/D1RA03560F>.
- [9] Das, Prince Edwin, Majdalawieh, Amin E., Yousef-Abu, Imad. A., Narasimhan dan Poltronieri. 2020. Use of A Hydroalcoholic Extract of Moringa oleifera Leaves for the Green Synthesis of Bismut Nanoparticles and Evaluation of Their Anti-Microbial and Antioxidant Activities. *Materials*, 13, 1996-1944.
<https://doi.org/10.3390/ma13040876>.
- [10] Rahim, Dewi Mustika., Herawati, Netti., dan Hasri. 2020. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Teh Hijau (Camellia Sinensis) dengan Iradiasi Microwave. *Jurnal Chemical*, 2 (1), 2722-8649.
<https://doi.org/10.35580/chemica.v2i1.14835>.
- [11] Maksum, A. 2019. Pengaruh Variasi Daya dan Waktu Ekstraksi Berbantu Gelombang Mikro terhadap Total Fenol dan pH Bunga Rosela (Hibiscus sabdariffa L.). *Jurnal Gizi Dan Pangan Soedirman*, 2(2), 2599-0152.
<http://jos.unsoed.ac.id/index.php/jgps>.
- [12] Tharamani, C.N., Thejaswini, H.C. and Sampath, S. 2008. Synthesis of size-controlled Bi particles by electrochemical deposition. *Bulletin of Materials Science*, 31(3), 0973-7669. <https://www.ias.ac.in/public/Volumes/boms/031/03/0207-0212.pdf>.
- [13] Torrisi, L., Silipigni, L., Restuccia, N., Cuzzocrea, S., Cutroneo, M., Barreca, F., Fazio, B., Marco, Di G., dan Guglielmino, S. 2018. Laser-generated bismuth nanoparticles for applications in imaging and radiotherapy. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2018.03.034>.

- [14] Taba, P., Parmitha, N.Y., dan Kasim, S. 2019. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) Sebagai Bioreduktor dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antioksidan. *Indonesian Journal Chemistry*, 7(1), 2460-1578. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2019.7-ptb>.
- [15] Sharma, A., Sharma, S., Sharma, K., Chetri, S.P., Vashishtha, A., Singh, P., Kumar, R., Rathi, B. and Agrawal, V. 2016. Algae as crucial organisms in advancing nanotechnology: a systematic review. *Journal of applied phycology*, 28(3). 1573-5176. [10.1007/s10811-015-0715-1](https://doi.org/10.1007/s10811-015-0715-1).